

Операция 2 – Многократное измерение шума измерительного канала при коротком замыкании на входе.

Операция 3 – все реализации подвергаются БПФ (быстрое преобразование Фурье):

$$U_x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} U(k) \exp\left(-j \frac{2\pi nk}{N}\right); \quad (2)$$

$$U(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} U_x(n) \exp\left(j \frac{2\pi nk}{N}\right), \quad (3)$$

где  $U(k)$  – результаты измерения значений сигналов;  $U_x(n)$  – дискретный аналог;  $n$  – текущее значение числа отсчетов;  $N$  – максимальное значение отсчетов за время реализации сигналов;  $k$  – число отсчетов в частотной области;  $U(k)$  – прямое БПФ;  $U_x(n)$  – обратное БПФ.

Операция 4 – формирование частотных интервалов для аддитивной суммы регистрируемого сигнала и шума измерительного канала и шума измерительного канала при коротком замыкании на входе.

Операция 5 – вычисление энергий в заданных частотных интервалах:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N E_{xi}; \quad E_{\xi} = \sum_{i=1}^N E_{\xi i}, \quad (4)$$

где  $E_{\Sigma}$  – энергия суммарного сигнала;  $E_{xi}$  – энергия в заданном частотном интервале суммарного сигнала;  $E_{\xi}$  – энергия шума;  $E_{\xi i}$  – энергия шума в том же заданном частотном интервале.

Операция 6 – для энергии шума определение максимального значения энергии шума в каждом заданном частотном интервале из  $n$ -реализаций.

Операция 7 – вычитание энергии шума в частотных интервалах, где энергия сигнала с шумом больше энергии шума и обнуление энергии в интервалах, где шум превышает энергию сигнала с шумом.

Операция 8 – определение коэффициентов для реализации процедуры восстановления сигнала во временной области.

Коэффициенты определяются как отношение энергии шума в заданном частотном интервале к энергии суммарного сигнала и шума в одном и том же частотном интервале.

Операция 9 – восстановление сигнала путем обратного БПФ (быстрого преобразования Фурье).

Операция 10 – сохранение восстановленного сигнала.

Данная вычислительная процедура правомерна, так как сравнение энергий осуществляется в очень узких частотных диапазонах (например, 10000 интервалов с шириной 0,1 Гц), а также по причине того, что величина шума на данном интервале может составлять основную часть сигнала, то есть измерительный канал в этом частотном диапазоне вносит существенный вклад в суммарный, кроме того на интервале вычисляется интегральная оценка по сумме гармонических составляющих.

В результате экспериментальных исследований разработанного метода получено отношение сигнал/шум, равное 10: при шуме  $\pm 2$  мкВ по пику уровень остаточного шума равен  $\pm 200$  нВ, при шуме  $\pm 1$  мкВ по пику уровень остаточного шума равен  $\pm 100$  нВ.

#### Список литературы

1. Грехов И.С. Разработка и исследование автоматизированной установки для проверки медицинских хлор-серебряных электродов и медицинских нанозлектродов для съема поверхностных биопотенциалов человека: дис. ... канд. техн. наук – Томск. – 2008.
2. Лежнина И.А. Электрокардиограф на нанозлектродов: дис. ... канд. техн. наук – Томск, 2010.
3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев: Высшая школа, 1983, – 455 с.
4. Патент РФ №2368911. Способ измерения размаха собственных шумов медицинских электродов для съема поверхностных биопотенциалов / Авлеева Д.К., Вылегжанин О.Н., Грехов И.С., Клубович И.А., Рыбалка С.А., Садовников Ю.Г., Якимов Е.В. – Бюл. №28, 2009.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБОЙ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

<sup>2</sup>Гилев В.М., <sup>1</sup>Сурудин С.П., <sup>1</sup>Шакиров С.Р.,  
<sup>1</sup>Шевченко Д.О., <sup>2</sup>Шпак С.И.

<sup>1</sup>Конструкторско-технологический институт  
вычислительной техники СО РАН;

<sup>2</sup>Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск,  
e-mail: gil@itam.nsc.ru

В данной работе представлена создаваемая в ИТПМ СО РАН система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой адиабатического сжатия. Рассмотрена архитектура системы, структура её программного обеспечения, показаны основные информационные потоки. Особое внимание уделяется средствам общения пользователя с системой – автоматизированному рабочему месту оператора, а также работе с базами данных.

В Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) им. С.А. Христиановича СО РАН в настоящее время для проведения научных исследований в области сверх- и гиперзвуковой аэродинамики создается новая экспериментальная установка – гиперзвуковая аэродинамическая труба адиабатического сжатия АТ-304 [1], позволяющая моделировать обтекание перспективных летательных аппаратов, в том числе использующих ГПВРД, вплоть до космических скоростей полета.

Данная аэродинамическая труба является установкой кратковременного действия, что требует в сжатый временной интервал (0,1–0,2 с) проведения эксперимента управления ее различными исполнительными механизмами (клапанами, задвижками, координатниками и т.д.), а также измерения нескольких десятков физических параметров (давления, температуры и т.п.) в различных технологических точках

установки. С другой стороны, во время подготовки установки к следующему эксперименту, необходимо управлять достаточно медленными (~1 часа) процессами. Все это требует создания высокоэффективной системы автоматизации, работающей как на этапе подготовки эксперимента, так и в процессе его проведения [1].

#### **Структура системы управления аэродинамической трубой АТ-304**

В основу создания системы автоматизации аэродинамической трубы был положен хорошо себя зарекомендовавший магистрально-модульный подход, предложенный в [2], построенный на распределенной компьютерной архитектуре. Система содержит три уровня, которые связываются между собой посредством локальной компьютерной сети. На нижнем уровне размещается аппаратура для измерения текущих технологических параметров установки и для управления исполнительными механизмами аэродинамической трубы. На втором уровне располагается OPC сервер, который является посредником между программой управления аппаратурой нижнего уровня и АРМ оператора – третьим уровнем системы.

Автоматизированная система управления аэродинамической трубой строится на основе следующих компонентов:

**1. Аппаратно-программный комплекс АПК-2010.** Комплекс предназначен для сбора технологических и экспериментальных данных и непосредственного управления источником рабочего газа при подготовке и проведении эксперимента [3]. В его состав входят различные информационно-вычислительные модули: аналоговые, дискретные и т.п.

**2. OPC сервер.** Осуществляет взаимодействие АРМ оператора и программы управления аппаратурой нижнего уровня.

**3. АРМ оператора аэродинамической трубы АТ-304.** Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора предназначено для управления работой аэродинамической трубы. Содержит в своем составе также базы данных результатов эксперимента.

#### **OPC Сервер**

Это компонента общей системы автоматизации. Предназначена для взаимодействия АРМ оператора с АПК-2010. Подсистема выполняет следующие функции:

- используя протокол обращения к модулям, реализует удалённое управление процессом проведения эксперимента и подготовкой к нему;
- выгружает с АПК-2010 результирующие данные эксперимента;
- реализует стандарт OPC DA v.2 (v. 1) для взаимодействия с прикладным ПО («OPC Клиент»);
- осуществляет запись хода подготовки и самого эксперимента в «Оперативный журнал эксперимента».

#### **АРМ оператора аэродинамической трубы**

АРМ оператора является составной частью системы управления гиперзвуковой аэродинамической трубой. В техническом плане АРМ оператора строится на базе стандартного IBM-совместимого компьютера, подключенного с помощью канала связи Ethernet к локальной компьютерной сети аэродинамической трубы.

С помощью АРМ обеспечивается взаимодействие оператора с системой управления аэродинамической трубой. На мониторе АРМ отображается вся необходимая оператору текущая информация об установке: положения подвижных частей, давления и температуры в различных емкостях и трубопроводах и т.д.

Взаимодействие АРМ оператора с АПК-2010 и АТ-304 осуществляется с помощью информационных пакетов, которые АРМ в соответствие с заложенной программой посылает в АПК-2010 через тэги и команды OPC сервера. Возникающие ошибки и конфликтные ситуации фиксируются в журнале.

*Структура АРМ оператора.* Обращение к техническим средствам системы из АРМ оператора производится с использованием OPC технологий. Такой подход облегчает процесс создания и переноса программного обеспечения, обеспечивает работу с оборудованием через компьютерную сеть.

В логическом плане АРМ оператора в своем составе содержит следующие компоненты:

– *OPC Клиент.* Является головной программой АРМ оператора и использует программные продукты, которые осуществляют контроль и мониторинг по стандарту OPC DA (в частности, на основе системы графического программирования LabVIEW). «OPC Клиент» представляет собой прикладное ПО, которое:

- использует интерфейс OPC DA и файловую систему (файл «Данные каналов») для контроля за ходом подготовки к проведению эксперимента;
- осуществляет анализ результирующих данных (файл «Данные каналов»);
- имеет интерфейс для доступа к Базе данных экспериментов;
- осуществляет процесс калибровки АЦП, размещающихся на нижнем уровне системы, который сводится к отображению значения тестового сигнала с выбранного канала и записи коэффициентов, влияющих на него (таких, как коэффициенты усиления, смещения нуля и т.п.). В процессе проведения эксперимента значения этих коэффициентов будут учитываться при выполнении измерений.

*Сервер БД.* Предназначен для хранения технологических и экспериментальных данных, работает под управлением СУБД SQLite и поддерживает работу по SQL-протоколу. Террито-

риально сервер размещается вместе с АРМ оператора. Основная база данных, задействованная на настоящий момент в системе автоматизации – это АРК2010.db, которая содержит все настройки модулей нижнего уровня, и тэги – идентификаторы каналов АЦП, входных и управляющих сигналов, служебных команд. Данная БД загружается при запуске ОРС сервера и обслуживается с помощью встроенного в АРМ редактора, позволяющего производить все необходимые изменения в настройке компонент системы автоматизации.

**Заключение.** К настоящему времени созданы все основные аппаратно-программные средства системы управления аэродинамической трубой. Ведутся работы по её отладке. Выполнение данного проекта осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-07-00483-а).

#### Список литературы

1. Structure of data acquisition system of experimental researches in the hypersonic wind tunnel / V.M. Gilyov, V.V. Garkusha, V.I. Zvegintsev, A.N. Shplyuk, S.I. Shpak, V.V. Yakovlev. // 16th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2012) (Kazan–Novosibirsk, Russia, 20–26 aug., 2012): Abstracts. Pt. 1. – Kazan, 2012. – P. 110–111.
2. Магистрально-модульный подход к созданию унифицированной системы автоматизации научных исследований и управления технологическими процессами / В.В. Гаркуша, В.М. Гилев, А.С. Мишнев, Г.М. Собстель, Д.О. Шевченко, В.В. Яковлев // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2012: сборник научных трудов Sworld. Материалы международной научно-практической конференции. – Вып. 2. Т. 4 – Одесса: КУПРИНЕНКО, 2012. – ЦИТ: 212-259. – С. 40–43.
3. Аппаратно-программный комплекс для создания систем автоматизации / В.М. Гилев, В.В. Гаркуша, А.С. Мишнев, Д.О. Шевченко, В.В. Яковлев // Датчики и системы. – 2012. – № 4. – С. 6–9.

### РОЛЬ АДсорбЦИОННО-СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СЛОЖНОСОСТАВЛЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Коренькова С.Ф., Сидоренко Ю.В.

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, e-mail: sm-samgasa@mail.ru*

В течение последних лет разработки Самарской школы материаловедов посвящены изучению шламовых отходов, как перспективного нанотехнологического сырья для получения материалов общестроительного и специального назначения [1-6].

Этот продукт образуется при химическом осаждении твердых частиц из сточных вод промышленных предприятий и представляет собою систему «твердая частица – адсорбционно-связанная вода». Быстрое осаждение гидроксидов металлов из сильно пересыщенных растворов (сточной воды) вызывает образование осадка в активной форме из-за несовершенства его ре-

шетки и наличия в ней дефектов. В зависимости от предприятия, на котором происходит очистка сточных вод, осадки бывают рентгеноаморфными или кристаллическими. В сильно пересыщенных растворах форма образующегося осадка зависит от соотношения скоростей агрегации и ориентации молекул, а потому может быть аморфной или кристаллической (по Габеру) [7]. В соответствии с классификацией Бема-Никлассена, шламы можно разделить на три группы, отличающиеся содержанием осажденных продуктов и их строением [5]. Существенный интерес представляют рентгеноаморфные осадки, которые образуются в результате сложных физико-химических процессов, связанных с обработкой цветных и черных металлов (гальванические производства, очистка алюминиевой ленты на металлургических предприятиях и т.д.). Существенную часть в гальваношламах, алюмокальциевых и алюмощелочных шламах составляют гидроксиды алюминия, меди, цинка, железа, а также гидроксидов кальция и магния, которые образуются после нейтрализации сточных вод известью.

Характерной особенностью таких шламов является высокая дисперсность твердой фазы, находящаяся в наноразмерных пределах, и комплекс структурно-реологических свойств [7, 8]. По совокупности этих свойств шламы обладают высокой клеящей способностью и в составе цементных, керамических и силикатных смесей служат своеобразными неорганическими нанодисперсными наполнителями, повышающими пластичность, устойчивость к расслоению и т.д. Экспериментальные исследования показали, что своеобразие структуре твердых частиц придает адсорбционно-связанная вода, которая обладает свойствами квазитвердого тела и способствует созданию высокой клеящей способности контактных слоев в сложносоставленных композициях [9].

Данные [5] показывают, что введение в силикатные разновидности цементов шламовых отходов позволяет существенно улучшить реологические свойства. При этом повышается пластичность цементного теста и водоудерживающая способность, снижается скорость осаждения цементных суспензий и расслаиваемость. Несколько возрастает пористость цементных композиций, т.к. шлам является материалом с повышенным содержанием микродисперсных пор. Установлено, что при введении шлама плотность растворной цементно-песчаной смеси составляет 1720 кг/м<sup>3</sup>, а раствор с известковым тестом имеет среднюю плотность 1800 кг/м<sup>3</sup> (при равной их прочности). Водоудерживающая способность растворной смеси повышается почти в 1,2 раза, расслаиваемость снижается в 2 раза [5].

Улучшение структурно-реологических свойств от введения шламов связаны с образованием пространственных структур, свойства которых в основном определяются поверх-